

Glucose dehydrogenase

Patent number: CN1576365
Publication date: 2005-02-09
Inventor: KOJI SODE (JP)
Applicant: KOJI SODE (JP)
Classification:
- international: C12N9/04; C12N15/53; C12N15/63; C12Q1/32; C12Q1/54
- european:
Application number: CN200410062902 20000410
Priority number(s): JP19990101143 19990408; JP20000009152 20000118

Also published as:

- EP1167519 (A1)
- WO0061730 (A1)
- JP2000350588 (A)
- CA2364565 (A1)

Abstract not available for CN1576365

Abstract of corresponding document: **EP1167519**

Modified water-soluble glucose dehydrogenase having pyrrolo-quinoline quinone as a coenzyme are provided wherein at least one amino acid residue is replaced by another amino acid residue in a specific region. Modified water-soluble PQQGDHs of the present invention have improved thermal stability.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-350588

(P 2000-350588 A)

(43) 公開日 平成12年12月19日 (2000. 12. 19)

(51) Int. Cl.	識別記号	F I	テーマコード	(参考)
C12N 15/09	ZNA	C12N 15/00	ZNA	A
1/15		1/15		
1/19		1/19		
1/21		1/21		
5/10		9/04		D
	審査請求 未請求 請求項の数23	○ L	(全16頁)	最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-9152 (P 2000-9152)

(22) 出願日 平成12年1月18日 (2000. 1. 18)

(31) 優先権主張番号 特願平11-101143

(32) 優先日 平成11年4月8日 (1999. 4. 8)

(33) 優先権主張国 日本 (JP)

(71) 出願人 596153357

早出 広司

東京都目黒区南1-13-16

(72) 発明者 早出 広司

東京都目黒区南1-13-16

(74) 代理人 100089705

弁理士 社本 一夫 (外5名)

(54) 【発明の名称】グルコース脱水素酵素

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、改良されたグルコースに対する親和性を有する改変型水溶性PQQGDHを提供することを目的とする。

【解決手段】 ピロロキノリンキノンを補酵素とする水溶性グルコース脱水素酵素において、*Acinetobacter calcoaceticus*由来水溶性PQQGDHの第227残基から244残基、第186残基から221残基または第412残基から421残基に相当する領域において1またはそれ以上のアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されていることを特徴とする改変型グルコース脱水素酵素。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ピロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素において、*Acinetobacter calcoaceticus*由来水溶性PQQG DHの231番目のセリン残基に相当するアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項2】 ピロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素において、*Acinetobacter calcoaceticus*由来水溶性PQQG DHの209番目のグルタミン残基に相当するアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項3】 ピロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素において、*Acinetobacter calcoaceticus*由来水溶性PQQG DHの210番目のグルタミン酸残基に相当するアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項4】 ピロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素において、*Acinetobacter calcoaceticus*由来水溶性PQQG DHの420番目のアスパラギン酸残基に相当するアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項5】 ピロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素において、*Acinetobacter calcoaceticus*由来水溶性PQQG DHの421番目のアラニン残基に相当するアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項6】 ピロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素において、配列番号1で表されるアミノ酸配列の、第48残基から53残基、第60残基から62残基、第69残基から71残基、第79残基から82残基、第91残基から101残基、第110残基から115残基、第127残基から135残基、第147残基から150残基、第161残基から169残基、第177から179残基、第186残基から221残基、第227残基から244残基、第250残基から255残基、第261残基から263残基、第271残基から275残基、第282残基から343残基、第349残基から377残基、第382残基から393残基、第400から403残基、第412残基から421残基、第427残基から432残基、第438残基から441残基および第449残基から468残基の領域からなる群より選択される1またはそれ以上の領域において、1またはそれ以上のアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されており、*Acinetobacter calcoaceticus*由来水溶性グルコース脱水素酵素と

比較して高い熱安定性を有することを特徴とする改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項7】 配列番号1で表されるアミノ酸配列の第227残基から244残基の領域において、1またはそれ以上のアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている、請求項3に記載の改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項8】 配列番号1で表されるアミノ酸配列の231番目のセリン残基が、他のアミノ酸残基で置換されている、請求項7記載の改変型グルコース脱水素酵素。

10 【請求項9】 配列番号1で表されるアミノ酸配列の第186残基から221残基の領域において、1またはそれ以上のアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている、請求項3に記載の改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項10】 配列番号1で表されるアミノ酸配列の209番目のグルタミン残基に相当するアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている、請求項9記載の改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項11】 配列番号1で表されるアミノ酸配列の210番目のグルタミン酸残基に相当するアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている、請求項9記載の改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項12】 配列番号1で表されるアミノ酸配列の第412残基から421残基の領域において、1またはそれ以上のアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている、請求項3に記載の改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項13】 配列番号1で表されるアミノ酸配列の420番目のアスパラギン酸残基に相当するアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている、請求項12記載の改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項14】 配列番号1で表されるアミノ酸配列の421番目のアラニン残基に相当するアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている、請求項12記載の改変型グルコース脱水素酵素。

【請求項15】 配列：Asn Leu Asp Gly Xaa231 Ile Pro Lys Asp Asn Pro Ser Phe Asn Gly Val Val Ser
[式中、Xaa231はSer以外の天然アミノ酸残基である]を含む、ピロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素。

40 【請求項16】 配列：Gly Asp Gln Gly Arg Asn Gln Leu Ala Tyr Leu Phe Leu Pro Asn Gln Ala Gln His Thr Pro Thr Gln Xaa209 Xaa210 Leu Asn Gly Lys Asp Tyr His Thr Tyr Met Gly
[式中、Xaa209およびXaa210は任意の天然アミノ酸残基である、ただし、Xaa209がGlnであるとき、Xaa210はGluではない]を含む、ピロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素。

【請求項17】 配列：Pro Thr Tyr Ser Thr Thr Tyr Asp Xaa420 Xaa421
[式中、Xaa420およびXaa421任意の天然アミノ酸残基で

ある、ただし、Xaa420がAspであるとき、Xaa421はAlaではない]を含む、ビロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素。

【請求項18】 請求項1-17のいずれかに記載の改変型グルコース脱水素酵素をコードする遺伝子。

【請求項19】 請求項18に記載の遺伝子を含むベクター。

【請求項20】 請求項18に記載の遺伝子を含む形質転換体。

【請求項21】 遺伝子が主染色体に組み込まれている、請求項20記載の形質転換体。

【請求項22】 請求項1-17のいずれかに記載の改変型グルコース脱水素酵素を含むグルコースアッセイキット。

【請求項23】 請求項1-17のいずれかに記載の改変型グルコース脱水素酵素を含むグルコースセンサー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はビロロキノリンキノン(PQQ)を補酵素とするグルコース脱水素酵素(GDH)の特定のアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている改変型PQQGDHに関する。本発明の改変型酵素は、臨床検査や食品分析などにおけるグルコースの定量に有用である。

【0002】

【従来の技術】 PQQGDHは、ビロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素であり、グルコースを酸化してグルコノラクトンを生成する反応を触媒する。

【0003】 PQQGDHには、膜結合性酵素と水溶性酵素があることが知られている。膜結合性PQQGDHは、分子量約87kDaのシングルペプチド蛋白質であり、種々のグラム陰性菌において広く見いだされている。一方、水溶性PQQGDHはAcinetobacter calcoaceticusのいくつかの株においてその存在が確認されており(Biosci. Biotech. Biochem. (1995), 59(8), 1548-1555)、その構造遺伝子がクローニングされアミノ酸配列が明らかにされている(Mol. Gen. Genet. (1989), 217: 430-436)。A. calcoaceticus由来水溶性PQQGDHは、分子量約50kDaのホモダイマーである。他のPQQ酵素とは蛋白質一次構造上でのホモロジーがほとんどなく、その機能と構造の相関に関する研究はすんでいないため、酵素安定化の指針となる知見はこれまでに得られていない。

【0004】 最近、オランダの研究者グループにより水溶性PQQGDHのX線結晶構造解析がおこなわれ、同酵素の高次構造が明かとなった(J. Mol. Biol., 289, 319-333 (1999), The crystal structure of the apo form of t

he soluble quinoprotein glucose dehydrogenase from *Acinetobacter calcoaceticus* reveals a novel internal conserved sequence repeat; A. Oubrie et al., The EMBO Journal, 18(19) 5187-5194 (1999), Structure and mechanism of soluble quinoprotein glucose dehydrogenase, A. Oubrie et al., PNAS, 96(21), 11787-11791 (1999), Active-site structure of the soluble quinoprotein glucose dehydrogenase complexed with methylhydrazine: A covalent cofactor-inhibitor complex, A. Oubrie et al.)。これらの論文によれば、水溶性PQQGDHは6つのW-モチーフから構成されるβプロペラ蛋白質である。

【0005】 血中グルコース濃度は、糖尿病の重要なマーカーとして臨床診断上極めて重要な指標である。また、微生物を用いる発酵生産におけるグルコース濃度の定量がプロセスモニタリングにおいて重要な項目となっている。従来、グルコースはグルコースオキシダーゼ(GOD)あるいはグルコース6リン酸脱水素酵素(G6PDH)を用いる酵素法により定量されていた。しかし、GODを用いる方法ではグルコース酸化反応にともない発生する過酸化水素を定量するためカタラーゼあるいはパーオキシダーゼをアッセイ系に添加する必要があった。またGODを用いるバイオセンサーの開発も進められてきたが、反応が水溶液中の溶存酸素濃度に依存することから高濃度のグルコース試料には適さないこと、あるいは溶存酸素濃度によって測定値に誤差が生じる可能性があった。一方、G6PDHは分光学的手法に基づくグルコース定量に用いられてきたが、反応系に補酵素であるNAD(P)を添加しなければならないという煩雑性があった。

そこで、これまでのグルコース酵素定量方法に用いられてきた酵素にかわる新たな酵素としてPQQGDHの応用が注目されている。PQQGDHはグルコースに対して高い酸化活性を有していること、およびPQQGDHは補酵素結合型の酵素であるため電子受容体として酸素を必要としないことから、グルコースセンサーの認識素子をはじめとして、アッセイ分野への応用が期待されている。しかしながら、PQQGDHはGODと比較して熱安定性が低いという問題点があった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 したがって、本発明は、改良された熱安定性を有する改変型水溶性PQQGDHを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明者は従来の水溶性PQQGDHを改良してその熱安定性を高め、臨床検査や食品分析などに応用できる改変型PQQGDHを開発すべく鋭意研究を行なった結果、水溶性PQQGDHの特定の領域においてアミノ酸変異を導入することにより、安定性がきわめて高い酵素を得ることに成功した。

すなわち、本発明は、ビロロキノリンキノンを補酵素と

するグルコース脱水素酵素において、*Acinetobacter calcoaceticus*由来水溶性PQQGDH（本明細書においては、野生型PQQGDHとも称される）の231番目のセリン残基に相当するアミノ酸残基、または209番目のグルタミン残基、または210番目のグルタミン酸残基、または420番目のアスパラギン酸残基、または421番目のアラニン残基に相当するアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている改変型グルコース脱水素酵素を提供する。なお、本明細書においては、アミノ酸の位置は、開始メチオニンを1として番号付けする。本発明はまた、ビロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素において、配列番号1で表されるアミノ酸配列の、第48残基から53残基、第60残基から62残基、第69残基から71残基、第79残基から82残基、第91残基から101残基、第110残基から115残基、第127残基から135残基、第147残基から150残基、第161残基から169残基、第177残基から179残基、第186残基から221残基、第227残基から244残基、第250残基から255残基、第261残基から263残基、第271残基から275残基、第282残基から343残基、第349残基から377残基、第382残基から393残基、第400残基から403残基、第412残基から421残基、第427残基から432残基、第438残基から441残基および第449残基から468残基の領域からなる群より選択される1またはそれ以上の領域において、1またはそれ以上のアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されており、*Acinetobacter calcoaceticus*由来水溶性PQQGDHより高い熱安定性を有することを特徴とする改変型グルコース脱水素酵素を提供する。好ましくは、本発明の改変型PQQGDHは、50℃で10分間熱処理した後の活性の残存率が天然型PQQGDHの活性の残存率より10%以上高く、より好ましくは20%以上高く、さらに好ましくは30%以上高い。また好ましくは、本発明の改変型PQQGDHは、55℃における熱失活半減期が天然型PQQGDHの熱失活半減期より5分以上長く、より好ましくは15分以上長い。本発明特に好ましい改変型PQQGDHは、配列番号1で表されるアミノ酸配列の第227残基から244残基、第186残基から221残基または第412残基から421残基の領域において、1またはそれ以上のアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている。さらに好ましくは、本発明の改変型PQQGDHは、配列番号1で表されるアミノ酸配列の231番目のセリン残基が、リジン、アスパラギン、アスパラギン酸、ヒスチジン、メチオニン、ロイシンおよびシステインからなる群より選択されるアミノ酸残基で置換されているか、または209番目のグルタミン残基がリジン残基で、または210番目のグルタミン酸残基がリジン残基で、または

420番目のアスパラギン酸残基がリジン残基で、または421番目のアラニン残基がアスパラギン酸残基で置換されている。

【0008】また別の観点においては、本発明の改変型PQQGDHは、配列：Asn Leu Asp Gly Xaa231 Ile Pro Lys Asp Asn Pro Ser Phe Asn Gly Val Val Ser

[式中、Xaa231はSer以外の天然アミノ酸残基である]

または配列：Gly Asp Gln Gly Arg Asn Gln Leu Ala Tyr Leu Phe Leu Pro Asn Gln Ala Gln His Thr Pro Thr Gln Xaa209 Xaa210 Leu Asn Gly Lys Asp Tyr His Thr Tyr Met Gly

[式中、Xaa209およびXaa210は任意の天然アミノ酸残基である、ただし、Xaa209がGlnであるとき、Xaa210はGluではない] または配列：Pro Thr Tyr Ser Thr Thr Tyr Asp Xaa420 Xaa421

[式中、Xaa420およびXaa421任意の天然アミノ酸残基である、ただし、Xaa420がAspであるとき、Xaa421はAlaではない] を含む。

【0009】本発明はまた、上述の改変型グルコース脱水素酵素をコードする遺伝子、該遺伝子を含むベクターおよび該遺伝子を含む形質転換体、ならびに本発明の改変型グルコース脱水素酵素を含むグルコースアッセイキットおよびグルコースセンサーを提供する。

【0010】本発明の改変型PQQGDHの酵素蛋白質は高い熱安定性を有し、かつグルコースに対して高い酸化活性を有していることから、グルコースの高感度かつ高選択性的測定に応用できる。

【0011】

【発明の実施の形態】改変型PQQGDHの構造

30 本発明者は、水溶性PQQGDHをコードする遺伝子のコーディング領域中にエラーブローンPCR法によりランダムに変異を導入し、アミノ酸残基の変異が導入された水溶性PQQGDHのライブラリーを構築した。これを大腸菌に形質転換し、熱処理後のPQQGDHの残存活性についてスクリーニングして、熱安定性の向上したPQQGDHを発現する多数のクローンを得た。

【0012】これらのクローンの一つについて遺伝子配列を解析したところ、第231番目のSerがCysに置換されていることが判明した。さらにこの残基を種々40 の別のアミノ酸残基に置換したところ、いずれの残基に置換しても野生型水溶性PQQGDHよりも熱安定性に優れた変異酵素が得られた。

【0013】水溶性PQQGDHは6つのW-モチーフから構成されるβプロペラ蛋白質の構造を有している。本発明においては、ループ領域の1つである第227残基から244残基の領域中の第231番目のSerを他のアミノ酸に置換することにより、熱安定性が向上することが見いだされた。次に、他のループ領域に関して部位特異的に変異を導入し、その熱安定性の向上を試みた。第186残基から221残基のループに存在する2

09番目のGlnをLysに、同210番目のGluをLysに、第412残基から421残基のループに存在する420番目のAspをLysに、同421番目のAlaをAspに置換したところ、変異型酵素の熱安定性が向上した。

【0014】すなわち、本発明により、ループ領域中に適切な変異を導入することにより、熱安定性が向上した水溶性PQQGDHを構築しうることが立証された。これは、水溶性PQQGDHにおいては、W-モチーフ間のループ領域の間の相互作用が β プロペラ蛋白質の構造の安定化に寄与しているためであると考えられる。上記に示したSer231、Gln209、Glu210、Asp420、Ala421残基は単なる例であり、本発明を限定するものではない。本発明は、ループ領域の構造遺伝子の特定の部位に変異を導入することによりPQQGDHの熱安定性を改良できることを当該技術分野において初めて明らかにしたものであり、PQQGDHの熱安定性を改良する方法論がここで提供される。

【0015】本発明の改変型PQQGDHは、配列番号1で表される野生型PQQGDHのアミノ酸配列中の特定の領域中にアミノ酸残基の変異を含むことを特徴とする。すなわち、本発明は、ビロロキノリンキノンを補酵素とするグルコース脱水素酵素において、配列番号1で表されるアミノ酸配列の、第48残基から53残基、第60残基から62残基、第69残基から71残基、第79残基から82残基、第91残基から101残基、第110残基から115残基、第127残基から135残基、第147残基から150残基、第161残基から169残基、第177から179残基、第186残基から221残基、第227残基から244残基、第250残基から255残基、第261残基から263残基、第271残基から275残基、第282残基から343残基、第349残基から377残基、第382残基から393残基、第400から403残基、第412残基から421残基、第427残基から432残基、第438残基から441残基および第449残基から468残基の領域からなる群より選択される1またはそれ以上の領域において、1またはそれ以上のアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている構造を有する、改変型PQQGDHを提供する。

【0016】本発明の好ましい改変型PQQGDHは、配列番号1で表されるアミノ酸配列の第227残基から244残基、第186残基から221残基または第412残基から421残基の領域において、1またはそれ以上のアミノ酸残基が他のアミノ酸残基で置換されている。さらに、本発明の特に好ましい改変型PQQGDHは、配列番号1で表されるアミノ酸配列の231番目のセリン残基が、リジン、アスパラギン、アスパラギン酸、ヒスチジン、メチオニン、ロイシンおよびシステインからなる群より選択されるアミノ酸残基で置換されて

いるか、またはまたは209番目のグルタミン残基がリジン残基で、または210番目のグルタミン酸残基がリジン残基で、または420番目のアスパラギン酸残基がリジン残基で、または421番目のアラニン残基がアスパラギン酸残基で置換されている。

【0017】また別の観点においては、本発明の改変型PQQGDHは、配列：Asn Leu Asp Gly Xaa231 Ile Pro Lys Asp Asn Pro Ser Phe Asn Gly Val Val Ser

[式中、Xaa231はSer以外の天然アミノ酸残基である]

10 または配列：Gly Asp Gln Gly Arg Asn Gln Leu Ala Tyr Leu Phe Leu Pro Asn Gln Ala GlnHis Thr Pro Thr Gln Xaa209 Xaa210 Leu Asn Gly Lys Asp Tyr His Thr Tyr Met Gly

[式中、Xaa209およびXaa210は任意の天然アミノ酸残基である、ただし、Xaa209がGlnであるとき、Xaa210はGluではない]

または配列：Pro Thr Tyr Ser Thr Thr Tyr Asp Xaa420 Xaa421 [式中、Xaa420およびXaa421任意の天然アミノ酸残基である、ただし、Xaa420がAspであるとき、Xaa421はAlaではない] を含む。

【0018】本発明の改変型グルコース脱水素酵素においては、グルコースデヒドロゲナーゼ活性を有する限り、さらに他のアミノ酸残基の一部が欠失または置換されていてもよく、また他のアミノ酸残基が付加されてもよい。さらに、当業者は、他の細菌に由来する水溶性PQQGDHについても、本発明の教示にしたがってループ構造を有する領域を予測し、この領域内でアミノ酸残基を置換することにより、熱安定性の向上した改変型グルコース脱水素酵素を得ることができる。特に、蛋白質の一次構造を並列して比較することにより、Acinetobacter calcoaceticus由来の水溶性PQQGDHの231番目のセリン残基、209番目のグルタミン残基、210番目のグルタミン酸残基、420番目のアスパラギン酸残基、または421番目のアラニン残基に相当するアミノ酸残基を容易に認識することができ、本発明にしたがって、かかる残基を他のアミノ酸残基で置換して改変型グルコース脱水素酵素を得ることができる。これらの改変型グルコース脱水素酵素も本発明の範囲内である。

40 改変型PQQGDHの製造方法

Acinetobacter calcoaceticus由来の天然の水溶性PQQGDHをコードする遺伝子の配列は配列番号2で規定される。

【0019】本発明の改変型PQQGDHをコードする遺伝子は、天然の水溶性PQQGDHをコードする遺伝子において、上述のループ領域中に存在するアミノ酸残基をコードする塩基配列を、変異すべきアミノ酸残基をコードする塩基配列に置換することにより構築することができる。このような部位特異的塩基配列置換のための種々の方法が、当該技術分野において知られている。こ

50

のようにして得た変異遺伝子を遺伝子発現用のベクター（例えばプラスミド）に挿入し、これを適当な宿主（例えば大腸菌）に形質転換する。外来性蛋白質を発現させるための多くのベクター・宿主系が当該技術分野において知られており、宿主としては例えば、細菌、酵母、培養細胞などの種々のものを用いることができる。

【0020】ランダム変異を導入する場合には、標的とするループ領域においてエラーブローンP C R法によりランダムに変異を導入し、ループ領域に変異が導入された変異水溶性P Q Q G D H遺伝子ライブラーを構築する。これを大腸菌に形質転換し、P Q Q G D Hの熱安定性について各クローンをスクリーニングする。水溶性P Q Q G D Hは大腸菌において発現させたときにペリプラズム空間に分泌されるため、菌体そのものを用いて容易に酵素活性の検定を行うことができる。このライブラーを60-70℃で約30分処理した後に、グルコースおよび色素としてP M S - D C I Pを加え、残存するP Q Q G D Hの活性を目視により判定して、熱処理によつても残存活性を示すクローンを選択し、遺伝子配列を解析してその変異を確認する。

【0021】上述のようにして得られた、改変型P Q Q G D Hを発現する形質転換体を培養し、培養液から遠心分離などで菌体を回収した後、菌体をフレンチプレスなどで破碎するか、またはオスモティックショックによりペリプラズム酵素を培地中に放出させる。これを超遠心分離し、P Q Q G D Hを含む水溶性画分を得ることができる。あるいは、適当な宿主ベクター系を用いることにより、発現したP Q Q G D Hを培養液中に分泌させることもできる。得られた水溶性画分を、イオン交換クロマトグラフィー、アフィニティークロマトグラフィー、H P L Cなどにより精製することにより、本発明の改変型P Q Q G D Hを調製する。

酵素活性の測定方法

本発明のP Q Q G D Hは、P Q Qを補酵素として、グルコースを酸化してグルコノラクトンを生成する反応を触媒する作用を有する。

【0022】酵素活性の測定は、P Q Q G D Hによるグルコースの酸化にともなって還元されるP Q Qの量を酸化還元色素の呈色反応により定量することができる。呈色試薬としては、例えば、P M S (フェナジンメトサルフェート) - D C I P (2, 6-ジクロロフェノールイソドフェノール)、フェリシアン化カリウム、フェロセンなどを用いることができる。

熱安定性

本発明の改変型P Q Q G D Hの熱安定性は、酵素を高温（例えば55℃）でインキュベートし、一定時間ごとにアリコートを取り出して酵素活性を測定し、時間経過にともなう酵素活性の低下をモニターすることにより評価することができる。典型的には、酵素の熱安定性は、酵素活性が50%に減少するまでに要する時間($t_{1/2}$)

を指標として表される。

【0023】本発明の改変型P Q Q G D Hは、野生型P Q Q G D Hと比較して高い熱安定性を有することを特徴とする。このため、酵素生産において調製／精製時の失活が少なく収率が高い、溶液中での安定性が高く酵素の保存が容易である、本酵素を用いてアッセイキットあるいは酵素センサーを作成する過程において失活が少なく、本酵素を用いて作成されたアッセイキットあるいは酵素センサーの熱安定性が高いことから、保存性に優れるなどの利点を有する。

グルコースアッセイキット

本発明はまた、本発明に従う改変型P Q Q G D Hを含むグルコースアッセイキットを特徴とする。本発明のグルコースアッセイキットは、本発明に従う改変型P Q Q G D Hを少なくとも1回のアッセイに十分な量で含む。典型的には、キットは、本発明の改変型P Q Q G D Hに加えて、アッセイに必要な緩衝液、メディエーター、キャリブレーションカーブ作製のためのグルコース標準溶液、ならびに使用の指針を含む。本発明に従う改変型P Q Q G D Hは種々の形態で、例えば、凍結乾燥された試薬として、または適切な保存溶液中の溶液として提供することができる。好ましくは本発明の改変型P Q Q G D Hはホロ化した形態で提供されるが、アボ酵素の形態で提供し、使用時にホロ化することもできる。

グルコースセンサー

本発明はまた、本発明に従う改変型P Q Q G D Hを用いるグルコースセンサーを特徴とする。電極としては、カーボン電極、金電極、白金電極などを用い、この電極上に本発明の酵素を固定化する。固定化方法としては、架橋試薬を用いる方法、高分子マトリックス中に封入する方法、透析膜で被覆する方法、光架橋性ポリマー、導電性ポリマー、酸化還元ポリマーなどがあり、あるいはフェロセンあるいはその誘導体に代表される電子メディエーターとともにポリマー中に固定あるいは電極上に吸着固定してもよく、またこれらを組み合わせて用いてよい。好ましくは本発明の改変型P Q Q G D Hはホロ化した形態で電極上に固定化するが、アボ酵素の形態で固定化し、P Q Qを別の層としてまたは溶液中で提供することもできる。典型的には、グルタルアルデヒドを用いて本発明の改変型P Q Q G D Hをカーボン電極上に固定化した後、アミン基を有する試薬で処理してグルタルアルデヒドをブロッキングする。

【0024】グルコース濃度の測定は、以下のようにして行うことができる。恒温セルに緩衝液を入れ、P Q QおよびC a C I 、およびメディエーターを加えて一定温度に維持する。メディエーターとしては、フェリシアン化カリウム、フェナジンメトサルフェートなどを用いることができる。作用電極として本発明の改変型P Q Q G D Hを固定化した電極を用い、対極（例えば白金電極）および参照電極（例えばA g / A g C I 電極）を用

いる。カーボン電極に一定の電圧を印加して、電流が定常になった後、グルコースを含む試料を加えて電流の増加を測定する。標準濃度のグルコース溶液により作製したキャリブレーションカーブに従い、試料中のグルコース濃度を計算することができる。

【0025】

【実施例】以下、実施例に基づいて本発明を詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

実施例1

変異PQQGDH遺伝子ライブラリの構築およびスクリーニング

Taq DNAポリメラーゼ (5U/ μ l)	0. 5 μ l
テンプレートDNA	1. 0 μ l
フォワードプライマーABF	4. 0 μ l
リバースプライマーABR	4. 0 μ l
10× Taqポリメラーゼバッファー	10. 0 μ l
1M β -メルカプトエタノール	1. 0 μ l
DMSO	10. 0 μ l
5mM MnCl ₂	10. 0 μ l
10mM dGTP	2. 0 μ l
2mM dATP	2. 0 μ l
10mM dCTP	2. 0 μ l
10mM dTTP	2. 0 μ l
H ₂ O	51. 5 μ l
	100. 0 μ l

得られた変異水溶性PQQGDHのライブラリーを大腸菌に形質転換し、形成された各コロニーをマイクロタイタープレートに移した。プレートを60°Cで約30分熱処理した後に、グルコースおよびPMS-DCIPを加え、残存するPQQGDHの活性を目視で判定した。熱処理後においてもPQQGDHの活性を示すクローンが多数得られた。

【0027】このうち1つのクローンを任意に選び、遺伝子配列を解析したところ、第231番目のセリンがシステインに変異していたことがわかった。

実施例2

改変型酵素PQQGDH遺伝子の構築

配列番号2に示されるAcinetobacter calcoaceticus由

S231D	5'-C CTT TGG AAT ATC TCC ATC AAG ATT TAA GC-3'
S231H	5'-C CTT TGG AAT ATG TCC ATC AAG ATT TAA GC-3'
S231K	5'-C CTT TGG AAT TTT TCC ATC AAG ATT TAA GC-3'
S231L	5'-C CTT TGG AAT CAT TCC ATC AAG ATT TAA GC-3'
S231M	5'-C CTT TGG AAT AGT TCC ATC AAG ATT TAA GC-3'
S231N	5'-C CTT TGG AAT ATT TCC ATC AAG ATT TAA GC-3'
I278F	5'-C AAT GAG GTT GAA TTC ATC GTC AGA G-3'
Q209K	5'-G ACC ATT CAG TTC TTT TTG AGT TGG C-3'
E210K	5'-G ACC ATT CAG TTT TTG TTG AGT TGG C-3'
D420K	5'-A CAT CGG TAC AGC TTT ATC ATA AGT AG-3'
A421D	5'-A CAT CGG TAC ATC GTC ATC ATA AGT AG-3'

プラスミドpGB2は、ベクターpTrc99A(ファルマシア社製)のマルチクローニング部位に、Acinetobacter calcoaceticus由来PQQGDHをコードする構造遺伝子を挿入したものである(図1)。このプラスミドをテンプレートとして、エラーフローニPCR法によりコーディング領域中にランダムに変異を導入した。PCR反応は、表1に示す組成の溶液中で、94°C 3分間、次に、94°C 3分間、50°C 2分間、および72°C 2分間を30サイクル、最後に72°Cで10分間の条件で行った。

【0026】

【表1】

30 来PQQGDHの構造遺伝子をもとに、常法に従って部位特異的変異法により231番目のセリン残基、209番目のグルタミン残基、210番目のグルタミン酸残基、420番目のアスパラギン酸残基、または421番目のアラニン残基をコードする塩基配列を所定のアミノ酸残基をコードする塩基配列に置換した。部位特異的変異はプラスミドpGB2を用いて、図2に示す方法により行った。変異に用いた合成オリゴヌクレオチドターテットプライマーの配列を表2に示す。表2においては、例えば「S231D」は、231番目のセリンがアスパラギン酸に置換されていることを表す。

【0028】

【表2】

ベクタープラスミド pKF18k (宝酒造(株)) に *Acinetobacter calcoaceticus* 由来 PQQGDH をコードする遺伝子の一部を含む *Kpn* I-Hind III 断片を組み込み、これをテンプレートとした。このテンプレート 50 fmol と宝酒造(株) 製 Mutan (登録商標) - Express Km キットに付属のセレクションプライマー 5 pmol、リン酸化したターゲットプライマー 50 pmol を全体 (20 μl) の 1/10 量の同キットのアニーリングバッファーとともに混合し、100℃、3 分間の熱処理でプラスミドを変性させ、1 本鎖にした。セレクションプライマーは pKF18k のカナマイシン耐性遺伝子上にある二重のアンバー変異を復帰させるためのものである。これを 5 分間氷上に置き、プライマーをアニーリングさせた。これに 3 μl の同キットエクステンションバッファー、1 μl の T4 DNA リガーゼ、1 μl の T4 DNA ポリメラーゼおよび 5 μl の滅菌水を加えて相補鎖を合成した。

【0029】これを DNA のミスマッチ修復能欠損株である *E. coli* BMH71-18 mutS に形質転換し、一晩振とう培養を行ってプラスミドを増幅させた。次に、これから抽出したプラスミドを *E. coli* MV1184 に形質転換し、そのコロニーからプラスミドを抽出した。そしてこれらのプラスミドについてシーケンスを行い、目的とした変異の導入を確認した。この断片を、プラスミド pGB2 上の野生型 PQQGDH をコードする遺伝子の *Kpn* I-Hind III 断片と入れ替え、変型 PQQGDH の遺伝子を構築した。

実施例 3

変型酵素の調製

野生型または変型 PQQGDH をコードする遺伝子を、*E. coli* 用の発現ベクターである pTrc99A (ファルマシア社) のマルチクローニングサイトに挿入し、構築されたプラスミドを *E. coli* DH5α 株に形質転換した。これを 450 ml の L 培地 (アンビシリソ 50 μg/ml、クロラムフェニコール 30 μg/ml 含有) で坂口フラスコを用いて 37℃ で一晩振とう培養し、1 mM CaCl₂、500 μM PQQ を含む 71 の L 培地に植菌した。培養開始後約 3 時間でイソプロピルチオガラクトシドを終濃度 0.3 mM になるように添加し、その後 1.5 時間培養した。培養液から遠心分離 (5000 × g、10 分、4℃) で菌体を回収し、この菌体を 0.85% NaCl 溶液で 2 回洗浄した。集菌した菌

野生型	
S 2 3 1 K	1 0
S 2 3 1 L	9 5
S 2 3 1 D	1 6
S 2 3 1 C	2 5
S 2 3 1 M	5 0
S 2 3 1 H	1 4
	1 5

体をフレンチプレスで破碎し、遠心分離 (10000 × g、15 分、4℃) で未破碎の菌体を除去した。上清を超遠心分離 (160500 × g (40000 r.p.m.)、90 分、4℃) し、水溶性画分を得た。これを粗精製酵素標品として以下の実施例において用いた。

【0030】さらに、こうして得た水溶性画分を 10 mM リン酸緩衝液 pH 7.0 で一晩透析した。透析したサンプルを 10 mM リン酸緩衝液 pH 7.0 で平衡化した陽イオン交換クロマトグラフィー用充填カラム TSKgel CM-TOYOPEARL 650M (東ソー株式会社) に吸着させた。このカラムを 10 mM リン酸緩衝液 pH 7.0、750 ml で洗浄した後、0-0.2 M NaCl を含む 10 mM リン酸緩衝液 pH 7.0 を用い、酵素を溶出させた。流速は 5 ml/min で行った。GDH 活性を有する画分を回収し、10 mM MOPS-NaOH 緩衝液 (pH 7.0) で一晩透析した。このようにして電気泳動的に均一な変型 PQQGDH 蛋白質を得た。これを精製酵素標品として以下の実施例において用いた。

実施例 4

酵素活性の測定

酵素活性の測定は 10 mM MOPS-NaOH 緩衝液 (pH 7.0) 中において PMS (フェナジンメトサルフェート) - DCIP (2,6-ジクロロフェノールイソドフェノール) を用い、DCIP の 600 nm の吸光度変化を分光光度計を用いて追跡し、その吸光度の減少速度を酵素の反応速度とした。このとき、1 分間に 1 μmol の DCIP が還元される酵素活性を 1 ユニットとした。また、DCIP の pH 7.0 におけるモル吸光係数は 16.3 mM⁻¹とした。

実施例 5

粗精製酵素標品の熱安定性の評価

実施例 3 で得られた野生型および各変型 PQQGDH の粗精製酵素標品をそれぞれ 1 μM PQQ、1 mM CaCl₂ 存在下で 1 時間以上ホロ化した後、55℃ でインキュベートした。一定時間ごとにアリコートを取り出し、氷上で急冷した。これらのサンプルの酵素活性を実施例 4 の方法に従って測定し、活性が 50% に低下するのに要する時間 (t_{1/2}) として表した。

40 【0031】結果を表 3 に示す。

【0032】

【表 3】

t_{1/2} (分)

15

S 2 3 1 N
I 2 7 8 F
Q 2 0 9 K
E 2 1 0 K
D 4 2 0 K
A 4 2 1 D

5 0
2 5
4 0
4 0
2 0
8 0

本発明の改変型PQQGDHの55℃における熱失活の半減期はいずれも野生型PQQGDHの55℃における熱失活の半減期より長く、野生型PQQGDHと比較して高い熱安定性を有することがわかる。

実施例6

精製酵素標品の熱安定性の評価

実施例3で得られた野生型酵素およびS231K改変型酵素の精製酵素標品を用いて、実施例5と同様に55℃における熱失活の半減期を測定した。野生型の精製酵素の熱失活の半減期は5分であり、S231K改変型酵素の熱失活の半減期は41分であった。

【0033】次に、実施例3で得られた野生型酵素およびS231K改変型酵素の精製酵素標品をそれぞれ1μMPQQ、1mM CaCl₂存在下で1時間以上ホロ化した。次に、1μMPQQ、1mM CaCl₂、10mM MOPS緩衝液(pH7.0)中で、指示された温度で10分間インキュベートした後、氷上で急冷した。これらの試料の酵素活性を実施例4の方法に従って測定し、熱処理前の活性に対する残存活性として表した。

【0034】結果を図3に示す。S231K改変型酵素は、40℃から62.5℃までの各温度において、野生型酵素と比較して高い活性を有していた。

実施例7

酵素活性の評価

実施例3で得られたS231K改変型酵素の粗精製酵素標品をそれぞれ1μMPQQ、1mM CaCl₂存在下で1時間以上ホロ化した。これを187μlずつ分注し、3μlの活性試薬(6mM D C I P 48μl, 600mM PMS 8μl, 10mM リン酸緩衝液pH7.0 16μl)および各濃度のD-グルコース溶液10μlを加え、実施例4に示す方法により室温で酵素活性を測定した。基質濃度対酵素活性のプロットから、K_mおよびV_{max}を求めた。S231Kのグルコースに対するK_m値は約20mMであり、V_{max}値は3300U/mgであった。これまで報告されている野生型PQQGDHのグルコースに対するK_m値は約20mMであり、V_{max}値は測定上件により2500-7000U/mgである。この結果から、S231K改変型PQQGDHは、野生型PQQGDHに匹敵する高い活性を有する酵素であることがわかる。

実施例8

基質特異性の評価

各改変型酵素の粗精製酵素標品について基質特異性を調

16

べた。基質として、それぞれ20mMのグルコース、および2-デオキシ-D-グルコース、マンノース、アロース、3-オ-メチル-D-グルコース、ガラクトース、キシロース、ラクトースおよびマルトースを用い、1μM PQQおよび1mM CaCl₂の存在下で30分間インキュベートして、実施例7と同様に酵素活性を測定した。値はグルコースを基質としたときの活性に対する相対活性で表した。図4に示されるように、本発明の改変型酵素はいずれも野生型酵素と同様の基質特異性を示した。

実施例9

グルコースのアッセイ

改変型PQQGDHを用いてグルコースをアッセイした。S231K改変型酵素を、1μMPQQ、1mM CaCl₂存在下で1時間以上ホロ化し、各種濃度のグルコースおよび5μMPQQ、10mM CaCl₂存在下で酵素活性を測定した。方法は実施例4に記載の酵素活性の測定法に準じ、DCIPの600nmの吸光度の変化を指標とした。図5に示されるように、S231K改変型PQQGDHを用いて、5mM-50mMの範囲でグルコースの定量を行うことができる。

実施例10

酵素センサーの作製および評価

5UのS231K改変型酵素にカーボンペースト20mgを加えて凍結乾燥させた。これをよく混合した後、既にカーボンペーストが約40mg充填されたカーボンペースト電極の表面だけに充填し、濾紙上で研磨した。この電極を1%のグルタルアルデヒドを含む10mM MOPS緩衝液(pH7.0)中で室温で30分間処理した後、20mMリジンを含む10mM MOPS緩衝液(pH7.0)中で室温で20分間処理してグルタルアルデヒドをブロッキングした。この電極を10mM MOPS緩衝液(pH7.0)中で室温で1時間以上平衡化させた。電極は4℃で保存した。

【0035】作製した酵素センサーを用いてグルコース濃度の測定を行った。得られたキャリブレーションカーブを図6に示す。すなわち、本発明の改変型PQQGDHを固定化した酵素センサーを用いて、1mM-12mMの範囲でグルコースの定量を行うことができた。

【0036】

【発明の効果】改変型PQQGDHは熱安定性に優れていることから、酵素生産において調製/精製時の失活が少なく収率が高い、溶液中での安定性が高く酵素の保存が容易である、本酵素を用いてアッセイキットあるいは

酵素センサーを作成する過程において失活が少なく、本酵素を用いて作成されたアッセイキットあるいは酵素センサーの熱安定性が高いことから、保存性に優れるとい

った利点が期待される。

【 0 0 3 7 】

【配列表】

Sequence Listing

<110> Sode, Koji

<120> Glucose Dehydrogenase

<130> 000029

<150> JP 11-101143

<151> 1999-4-8

<160> 16

<210> 1

<211> 454

<212> PRT

<213> Acinetobacter calcoaceticus

<400> 1

Asp Val Pro Leu Thr Pro Ser Gln Phe Ala Lys Ala Lys Ser Glu Asn

1 5 10 15

Phe Asp Lys Lys Val Ile Leu Ser Asn Leu Asn Lys Pro His Ala Leu

20 25 30

Leu Trp Gly Pro Asp Asn Gln Ile Trp Leu Thr Glu Arg Ala Thr Gly

35 40 45

Lys Ile Leu Arg Val Asn Pro Glu Ser Gly Ser Val Lys Thr Val Phe

50 55 60

Gln Val Pro Glu Ile Val Asn Asp Ala Asp Gly Gln Asn Gly Leu Leu

65 70 75 80

Gly Phe Ala Phe His Pro Asp Phe Lys Asn Asn Pro Tyr Ile Tyr Ile

85 90 95

Ser Gly Thr Phe Lys Asn Pro Lys Ser Thr Asp Lys Glu Leu Pro Asn

100 105 110

Gln Thr Ile Ile Arg Arg Tyr Thr Tyr Asn Lys Ser Thr Asp Thr Leu

115 120 125

Glu Lys Pro Val Asp Leu Leu Ala Gly Leu Pro Ser Ser Lys Asp His

130 135 140

Gln Ser Gly Arg Leu Val Ile Gly Pro Asp Gln Lys Ile Tyr Tyr Thr

145 150 155 160

Ile Gly Asp Gln Gly Arg Asn Gln Leu Ala Tyr Leu Phe Leu Pro Asn

165 170 175

Gln Ala Gln His Thr Pro Thr Gln Gln Glu Leu Asn Gly Lys Asp Tyr

180 185 190

His Thr Tyr Met Gly Lys Val Leu Arg Leu Asn Leu Asp Gly Ser Ile

195 200 205

Pro Lys Asp Asn Pro Ser Phe Asn Gly Val Val Ser His Ile Tyr Thr

210 215 220

Leu Gly His Arg Asn Pro Gln Gly Leu Ala Phe Thr Pro Asn Gly Lys

225 230 235 240

Leu Leu Gln Ser Glu Gln Gly Pro Asn Ser Asp Asp Glu Ile Asn Leu

245 250 255

Ile Val Lys Gly Gly Asn Tyr Gly Trp Pro Asn Val Ala Gly Tyr Lys

260 265 270

Asp Asp Ser Gly Tyr Ala Tyr Ala Asn Tyr Ser Ala Ala Asn Lys

19

20

275	280	285
Ser Ile Lys Asp Leu Ala Gln Asn Gly Val Lys Val Ala Ala Gly Val		
290	295	300
Pro Val Thr Lys Glu Ser Glu Trp Thr Gly Lys Asn Phe Val Pro Pro		
305	310	315
Leu Lys Thr Leu Tyr Thr Val Gln Asp Thr Tyr Asn Tyr Asn Asp Pro		
325	330	335
Thr Cys Gly Glu Met Thr Tyr Ile Cys Trp Pro Thr Val Ala Pro Ser		
340	345	350
Ser Ala Tyr Val Tyr Lys Gly Gly Lys Lys Ala Ile Thr Gly Trp Glu		
355	360	365
Asn Thr Leu Leu Val Pro Ser Leu Lys Arg Gly Val Ile Phe Arg Ile		
370	375	380
Lys Leu Asp Pro Thr Tyr Ser Thr Thr Tyr Asp Asp Ala Val Pro Met		
385	390	395
Phe Lys Ser Asn Asn Arg Tyr Arg Asp Val Ile Ala Ser Pro Asp Gly		
405	410	415
Asn Val Leu Tyr Val Leu Thr Asp Thr Ala Gly Asn Val Gln Lys Asp		
420	425	430
Asp Gly Ser Val Thr Asn Thr Leu Glu Asn Pro Gly Ser Leu Ile Lys		
435	440	445

Phe Thr Tyr Lys Ala Lys

450

<210> 2

<211> 1612

<212> DNA

<213> Acinetobacter calcoaceticus

<400> 2

agctactttt atgcaacaga gcctttcaga aatttagatt ttaatagatt cgttattcat 60
 cataatacaa atcatataga gaacticgtac aaacccttta tttagggtttt aaaaatctc 120
 ggaaaatttt gacaattttt aagggtggaca catgaataaa cattttatgg ctaaaattgc 180
 ttatataagc gctgttcagc tagttacact ctccagcattt gctgtatgtt ctcttaactcc 240
 atctcaattt gctaaagcga aatcagagaa ctttgacaag aaagttatcc tatcttaatct 300
 aaataagccg catgcttigt tatggggacc agataatcaa atttggtaa ctgagcgagc 360
 aacaggtaag attctaagag ttaatccaga gtcgggttgt gtaaaaacag ttttcaggt 420
 accagagatt gtcataatgt ctgtatggca gaatggttt ttaggtttt ctttccatcc 480
 tgatttaaa aataatccctt atatctatac ttccaggatca tttaaaaatc cgaaatctac 540
 agataaagaa ttaccgaacc aaacgattat tcgtcgat acctataata aatcaacaga 600
 tacgctcgag aagccagtcg atttattagc aggattact tcatcaaaag accatcagtc 660
 aggtcgctt gtcattggc cagatcaaaa gatttattat acgattggc accaaggcgc 720
 taaccagctt gcttatttgt tcttgccaaa tcaagcacaac catacgccaa ctcaacaaga 780
 actgaatggt aaagactatc acacccatatac gggtaaagta ctacgctta atcttgatgg 840
 aagttatcca aaggataatc caagtttaa cggggtggtt agccatattt atacacttgg 900
 acatcgtaat ccgcagggtc tagccatcac tccaaatgtt aaattatgc agtctgaaca 960
 aggcccaaac tctgacgtaa agatccatatac cattgtcaaa ggtggcaattt atgggtggcc 1020
 gaatgttagca gtttataaaag atgatagtgg ctatgcattt gcaaatttattt cagcagcgc 1080
 caataagtca attaaggatt tagctcaaaa tggagtaaaa gtggccgcag gggtccctgt 1140
 gacgaaagaa tctgaatgga ctggtaaaaa ctttgcctca ccattaaaaa ctttatatac 1200
 cgttcaagat acctacaact ataacgatcc aacttgtgga gagatgaccc acatttgctg 1260
 gccaacagtt gcaccgtcat ctgcctatgt ctataaggc ggtaaaaag caattactgg 1320

21

22

ttggggaaat acattatgg ttccatctt aaaacgtgtt gtcatttcc gtatagttt 1380
 agatccaact tatagcaactt ctatgaiga cgctgtaccg atgttaaga gcaacaaccg 1440
 ttatgtat gtgattgaa gtcaggatgg gaatgtctta tatgtatcaa ctgatactgc 1500
 cggaaatgtc caaaaagatg atggctcagt aacaataca ttagaaaaacc caggatctc 1560
 cattaaggatc acctataagg ctaagtaata cagtcgcatt aaaaaaccga tc 1612

<210> 3

<211> 18

<212> PRT

<213> *Acinetobacter calcoaceticus*

<220>

<222> 4

<223> Xaa is any amino acid residue

<400> 3

Asn Leu Asp Gly Xaa Ile Pro Lys Asp Asn Pro Ser Phe Asn Gly Val

1

5

10

15

Val Ser

<210> 4

<211> 36

<212> PRT

<213> *Acinetobacter calcoaceticus*

<220>

<222> 24

<223> Xaa is any amino acid residue

<222> 25

<223> Xaa is any amino acid residue

<400> 4

Gly Asp Gln Gly Arg Asn Gln Leu Ala Tyr Leu Phe Leu Pro Asn Gln

1

5

10

15

Ala Gln His Thr Pro Thr Gln Xaa Xaa Leu Asn Gly Lys Asp Tyr His

20

25

30

Thr Tyr Met Gly

35

<210> 5

<211> 10

<212> PRT

<213> *Acinetobacter calcoaceticus*

<220>

<222> 9

<223> Xaa is any amino acid residue

<222> 10

<223> Xaa is any amino acid residue

<400> 5

Pro Thr Tyr Ser Thr Thr Tyr Asp Xaa Xaa

1

5

10

<210> 6

<211> 30

<212> DNA

<213> Artificial Sequence

<220>

<223> primer for point mutation

<400> 6
cctttggaat atctccatca agattnaagc 30
<210> 7
<211> 30
<212> DNA
<213> Artificial Sequence
<220>
<223> primer for point mutation
<400> 7
cctttggaat atgtccatca agattnaagc 30
<210> 8
<211> 30
<212> DNA
<213> Artificial Sequence
<220>
<223> primer for point mutation
<400> 8
cctttggaat ttttccatca agattnaagc 30
<210> 9
<211> 30
<212> DNA
<213> Artificial Sequence
<220>
<223> primer for point mutation
<400> 9
cctttggaat cattccatca agattnaagc 30
<210> 10
<211> 30
<212> DNA
<213> Artificial Sequence
<220>
<223> primer for point mutation
<400> 10
cctttggaat agttccatca agattnaagc 30
<210> 11
<211> 30
<212> DNA
<213> Artificial Sequence
<220>
<223> primer for point mutation
<400> 11
cctttggaat attccatca agattnaagc 30

<210> 12
<211> 26
<212> DNA
<213> Artificial Sequence
<220>
<223> primer for point mutation
<400> 12

caatgagggtt gaattcatcg tcagag 26
 <210> 13
 <211> 26
 <212> DNA
 <213> Artificial Sequence
 <220>
 <223> primer for point mutation
 <400> 13
 gaccattcag ttcttttga gttggc 26
 <210> 14
 <211> 26
 <212> DNA
 <213> Artificial Sequence
 <220>
 <223> primer for point mutation
 <400> 14
 gaccattcag tttttttga gttggc 26
 <210> 15
 <211> 26
 <212> DNA
 <213> Artificial Sequence
 <220>
 <223> primer for point mutation
 <400> 15
 acatcggtac agctttatca taagtag 27
 <210> 16
 <211> 26
 <212> DNA
 <213> Artificial Sequence
 <220>
 <223> primer for point mutation
 <400> 16
 acatcggtac atcgatca taagtag 27

【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は、本発明において用いたプラスミド pGB 2 の構造を示す。

【図 2】 図 2 は、本発明の改変型酵素をコードする突然変異遺伝子を作成する方法を示す。

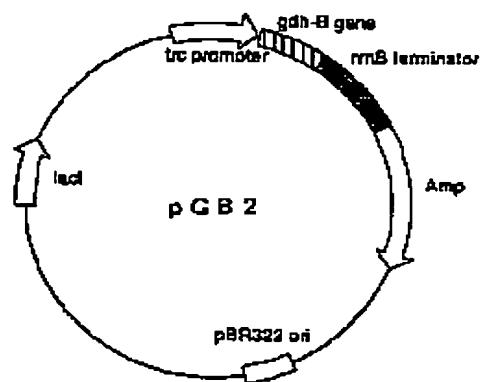
【図 3】 図 3 は、本発明の改変型酵素の熱安定性を示す。

【図 4】 図 4 は、本発明の改変型酵素の基質特異性を示す。

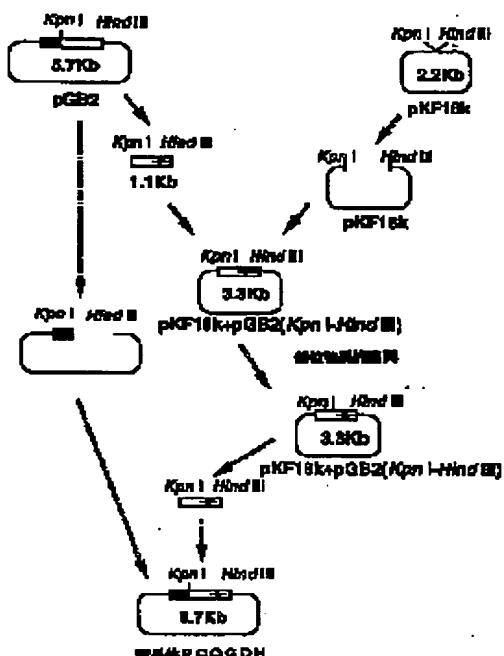
【図 5】 図 5 は、本発明の改変型 PQQGDH を用いるグルコースのアッセイを示す。

【図 6】 図 6 は、本発明の改変型 PQQGDH を用いる酵素センサーのキャリブレーションカーブを示す。

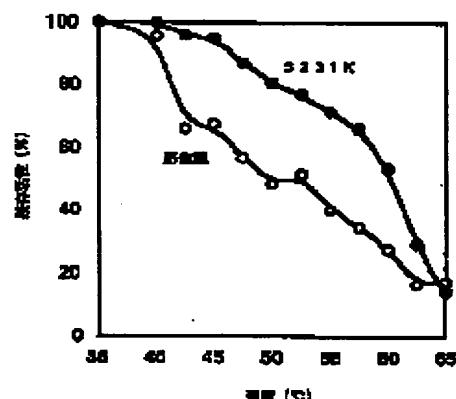
【図 1】



【図 2】



【図 3】

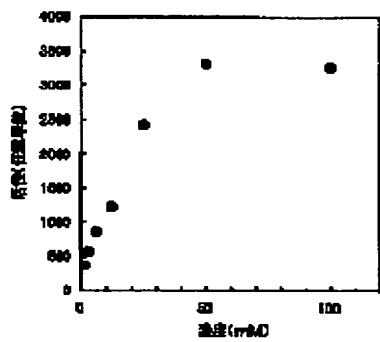


【図 4】

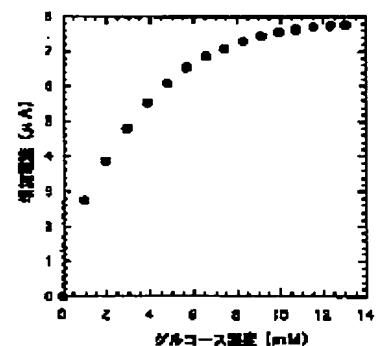
	S231K	S231C	S231L	S231D	S231N	S231M	S231H
グルコース	100	100	100	100	100	100	100
2-デオキシ-D-グロース	4	5	3	2	6	6	5
マンノース	13	10	8	8	13	12	8
フロース	47	43	46	38	62	61	48
3-オ-メチル-D-グルコース	81	82	78	71	105	109	80
ガラクトース	11	15	14	12	20	18	10
キシロース	7	6	8	8	12	16	8
ラクトース	61	68	69	64	79	88	68
マレトース	61	79	69	58	76	51	41

BEST AVAILABLE COPY

【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.

C 12 N 9/04
C 12 Q 1/54

識別記号

F I
C 12 Q 1/54
C 12 N 5/00

「マーク」(参考)

A